

背 負 投 の 分 析

青 木 豊 次*・橋 本 昇*・滝 沢 宏 人**

寒 河 江 俊 光*・山 本 洋 祐***

(昭和 60 年 12 月 2 日受付)

Biomechanical Analysis of "Seoinage" in Judo Throwing Technique

Toyaji AOKI, Noboru HASHIMOTO, Hiroto TAKIZAWA,
Toshimitsu SAGAE and Yosuke YAMAMOTO

The purpose of this study was to evaluate some kinetic and kinematic parameters, such as displacement, velocity, angular displacement, force, power, concerning with judo throwing technique, "Seoinage". Two high speed cameras were used to film performers. One was placed on the side of performers and another was placed on the front of them. These cameras were synchronized using the event markers. The recorded films were analyzed using the motion analyzer. The results were as follows:

1. The height of center of gravity of "Tori" player was 18 cm below that of "Uke" at the point that the foot of "Uke" player started to take off the ground.
2. The peak value of ground reaction force in the vertical component developed by "Tori" was 185 kg. This value was 2.9 times of the body weight of "Tori".
3. The peak power developed by "Tori" was 85 kgm/sec.
4. The left upper extremity made contact with the ground at first, and then the left lower extremity, the right lower extremity, finally the trunk did. The impact strength produced between each segment and ground was 60.4 kg in case of the left upper extremity, 163.4 kg in case of the left lower extremity, 205.4 kg in case of the right lower extremity, 100.6 kg in case of the trunk, respectively.

目 的

柔道の投技の分析が運動学的に、運動力学的に研究されている^{1,2,3)}。これは国際競技となった柔道という立場と、動作分析の方法が急速に進んだためと思われる。

筆者ら⁴⁾は、これまで柔道の内股の分析に取り組んできた。柔道の試合における決まり技の内容は、内股が最も多く、次いで大外刈、背負投、払腰の順であるという⁵⁾。内股と大外刈は足技に分類されるが、手技の代表的なものとして背負投があげられる。背負投についての研究はこれまでもみられる。例えば、重心の軌跡を調べたもの⁶⁾、腰関節部の加速度の増減の割合から投技の構造特性をみたもの⁷⁾、背負投がかけられた時の受身の衝撃力を測定したもの^{8,9)}などがある。

本研究では、背負投の技が発現するときの“取”(技をかける人)と“受”(技をかけられる人)の重心点の変位と速度、“取”の膝関節角、体幹前傾角の変位、“取”の発揮する力とパワー、“受”が受身をとる時の衝撃力などの多角的観点から背負投を分析することにした。このことが、技術指導の助けとなると考えたからである。

方 法

この実験における動作記録のために、3次元記録を試みた。2台の16mm高速度カメラ(Photo-sonics社製)を用い、それぞれの映写面が直角になる被検者の前方と側方から、共に18m離れた三脚台の上に固定し、同一の動作を撮影した。両カメラともズームレンズが使

* 武道Ⅰ研究室, ** 大学院体力学, *** 山梨県立日川高等学校

用され、フィルム枠内に出来るだけ大きく画像が入るように心掛けた。両フィルム上の同一の動作を同期するために event maker が用いられた。身体合成重心点算出のために、全身を15ヶ所の分節に区分するランドマークを区分点に貼付した。ランドマークが動作中、フィルム記録されるために、被検者に水泳パンツのみをつけさせた。一方、襟と袖に相当する部分には柔道用の帯を巻きつけて背負投の技を実施させた。数回の予備試行の後、“取”に自由に背負投を実施させ、2試行をフィルム記録した。使用したフィルムは、フジ RT 500 (ASA 500) のカラーフィルムであった。フィルム送り速度は100fpsであった。実験に使用した柔道量は、静的応力が1平方cm 当り 0.1 kg の時、約 30 G の減速度の衝撃特性を示すものと同種のものであった¹⁰⁾。

被検者は本学柔道部員で、13年の柔道経験を持つものであり、“取”は身長166cm、体重64.8kg、“受”は身長168cm、体重65.8kgであった。

記録したフィルムは、フィルムモーションアナライザー (nac 社製 SPORTIAS GP-2000) によって分析された。2台のアナライザーを用い、隠れて見えないランドマークの位置を補正しながら、フィルムを1コマずつ分析した。

結果及び考察

A. 運動学的分析と考察

1. 技の各局面の所要時間

図1は、2回の試行を動作局面によって区分した時のそれぞれの所要時間を示したものである。区分点となる動作局面は、“取”の軸足が畳に着いた時、次に送り足が畳に着いた時、そして“受”の両足が畳から離れた時、最後に、“受”の受身をとる手が畳についた時である。なお本研究では、“取”の軸足着床から、“取”の送り足着

床までを「掛け」の前半、“取”の送り足着床から“受”の両足離床までを「掛け」の後半、“受”の両足離床から“受”の左手着床までを「投げ」、そして“受”の左手着床から体幹着床までを「受身」の局面とした。また“受”の身体重心点が落下をし始める点で「投げ」の局面を前半と後半に区分した。

全体の所要時間をみると、第1試行では1370msec 第2試行では1610msecであった。

全体の所要時間に対する各局面の割合をみたものが下段に示してある。「掛け」の局面に47~48%、「投げ」の局面に42~45%、「受身」の局面に8~11%を要している。以後の分析対象には第一試行の動作のみをとりあげた。

2. “取”と“受”の身体重心点の垂直方向の変位

図2は、“取”と“受”の身体重心点の上下方向の変位を示したものである。図の中の実線は“取”、破線は“受”の重心の変位を表している。

最初、両者の重心点は、畳の面から約92cmの高さにあった。軸足が着床したところから、“取”の重心は低くなり始め、送り足が着床した時には、両者の間に約4cmの高低の差がみられた。“受”が両足離床した時の差は18cmとなった。“取”はこの時点まで約26cm重心を下げたことになる。“受”がかつぎあげられると、両者の重心点はほぼ平行して上昇した。「投げ」の後半から「受身」の局面では、“受”の重心点は急激に下降した。これに対し、“取”の重心点はやや上昇した。ここで述べられた数値は選手間の体型あるいは背負投の変形に関連して個人差がでてくると思われる。

3. “取”と“受”の身体重心点の移動速度

“取”と“受”の身体重心点の移動速度を、技が実施された時間的経過に従って表した。それが図3である。

全体からみると、“取”が両足を踏み込み、“受”の身体の下側に位置するまでは、“取”の重心移動の速度が

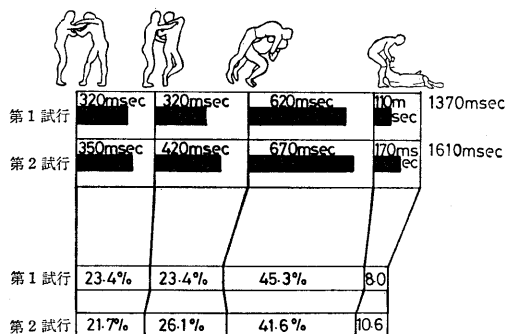


図1 各動作局面の所要時間

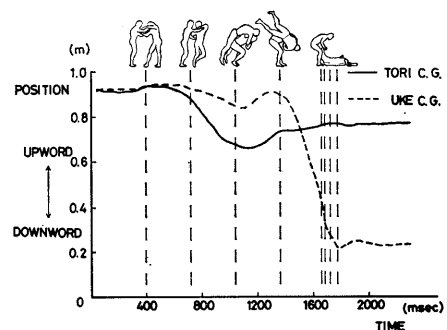


図2 “取”と“受”の身体重心点の垂直変位

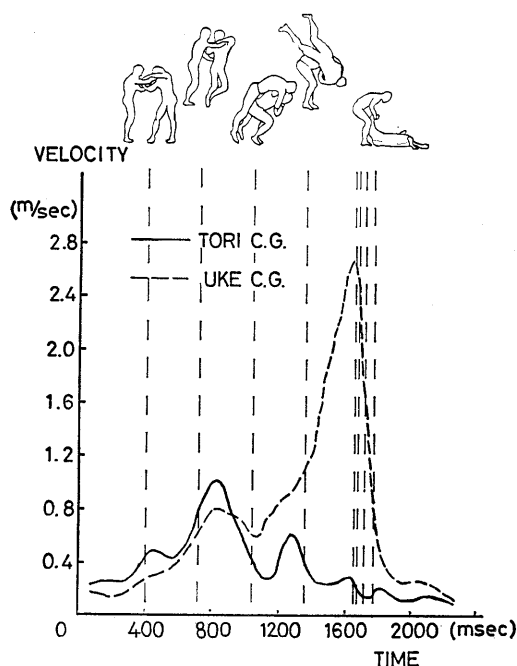


図3 “取”と“受”の身体重心点の移動速度

“受”の人のそれより速く、それ以後は“受”の人の重心移動の速度のほうが速くなっている。また“取”も“受”も分割した局面の近くで、それぞれ速度が大きくなりあわれている。

“取”の最大速度は、送り足が着床し、重心点を急速に下げている時にあらわれた。その速度は約 1.0 m/sec であった。そして再び速度が大きくなるのは、重心点を上昇させる「投げ」の前半の末期であった。

“受”についてみると、“取”の両足着床後まで、徐々に速度が上昇した。そのピーク値は 0.8 m/sec であった。“受”の両足離床時に、やや速度は低下するが、両足が畳から離れてからは急激に速度を増大し、落下を始めるとさらに急激に増大し、左手が畳に着く直前の速度は 2.66 m/sec となった。受身の着床順は、左上肢、左下肢、右下肢、体幹の順であった。これらの連続的な受身により、わずか 0.155 sec 間に 0.24 m/sec まで速度を減少した。

4. “取”の体幹前傾角と膝関節角の変位

“取”の重心点は、上体を前傾することによっても、また膝関節を屈曲することによっても低下する。図4は、水平面に対する体幹の前傾角を θ_1 とし、膝関節角を θ_2 として、時間経過に従ってそれらの角変位を示したものである。

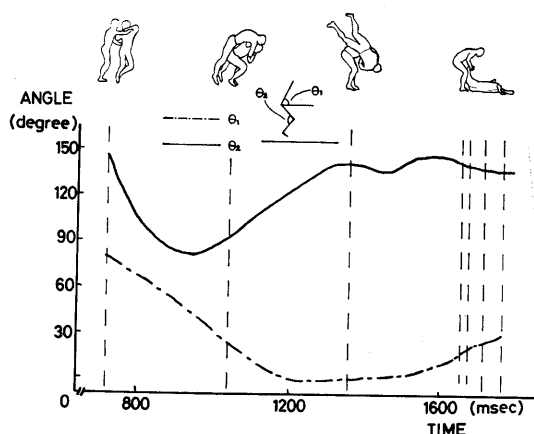


図4 “取”の体幹前傾角と膝関節角の変位

体幹の前傾角 (θ_1) は、“取”の送り足の着床時から“受”の重心点が“取”の重心点の真上を通過するまで、直線的に小さくなる。これは、「掛け」から「投げ」へと、腰を中心とした回転運動を続けようとしているためと解せられる。一方、膝関節角 (θ_2) は、“取”の送り足着床時に 146° であり、完全伸展位よりも 34° 屈曲しているといえる。そして、“受”の両足離床前までに 90° 以下まで屈曲し、その後、体幹前傾角 (θ_1) が角度の減少を続けるのと反対に、伸展運動をみせ、角度は 143° まで直線的に増加した。つまり、膝関節を約 90° から約 143° のおよそ 53° 伸展しながら筋力発揮したことになる。“受”の重心点が下方に向い始めると、±10° の屈伸運動を示した。これは、バランスをとっているものと推察される。

このように重心点を上下動させる要因として、体幹の前傾角と膝関節角の両者が相を異にしながら影響していると言える。

B. 運動力学的分析と考察

1. “取”が「投げ」の前半局面で発揮する力

“取”と“受”の合成重心点の動きから、上下、前後、左右方向に働く力を算出した。この力を“取”の足裏に作用する力と考えた。つまり、合成重心点が前方に加速している時は、“取”の足の裏では後方に畳を蹴っていることになる。上下方面、左右方向についても同様のことが言える。また上下方向に働く力を算出するときには、重力加速度と算出した加速度を加えたものを合成重心点の加速度とした。

図5の中で、「A」は“受”の両足離床時、「B」は“受”の身体重心点が下方に向い始める直前を示している。Y 軸方向の力と X 軸方向の力を同じ時刻に合せて、その

交点を矢印で表した。これはベクトル量となり、「A」から「B」への時刻の経過と共に変化する。これらのベクトルの先端を点線で結んだ。垂直方向の力は約155 kg から 185 kg に達し、両者の体重を合せた 130 kg より大きな力を発揮した。これは“取”自身の体重の約 2.9 倍が“取”の足裏にかかったことになる。また前後方向では、「投げ」の前半の終了時点で、後方に 32 kg の力を発揮した。

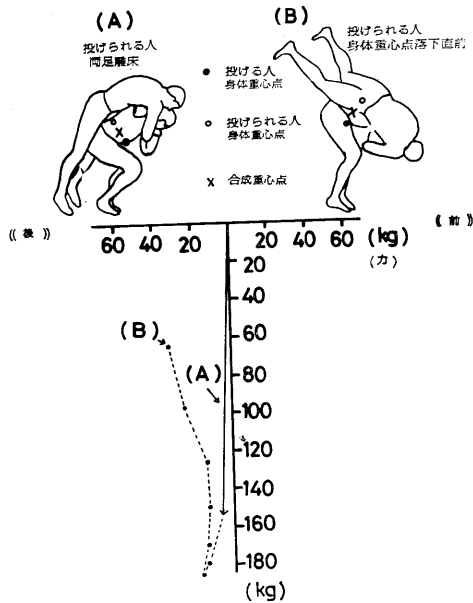


図5 「投げ」の前半局面での“取”の足裏に作用する力（上下・前後方向）

図5が上下、前後方向の力のベクトルであるのに対し、図6は、上下、左右方向の力のベクトルを表している。左右方向における力は、まず左側に約 20 kg の力が発揮される。これは右肩に“受”をかつぎあげるための踏ん張りによるものと考えられる。その後、左右に約 10 kg ずつ動揺し、バランスをとっているが、「投げ」の後半で右斜め前方に“受”の重心が離れていくために、その力の成分が右側に生じ、その反作用力として足が量

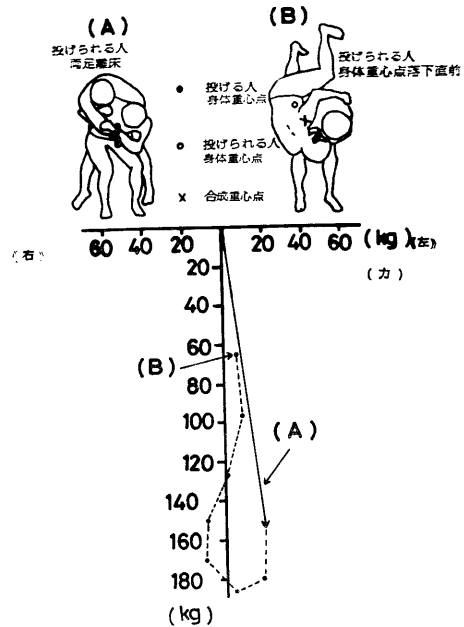


図6 「投げ」の前半局面での“取”の足裏に作用する力（上下・左右方向）

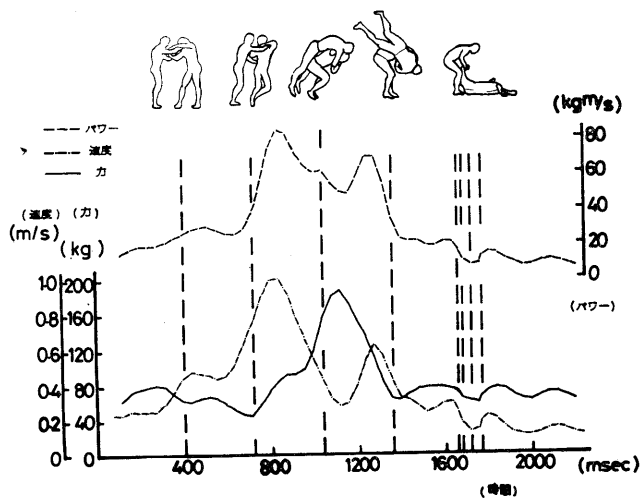


図7 “取”の発揮したパワー・速度・力

を押す力が、また左側にあらわれたと思われる。

なお図 5、図 6 の「A」から「B」までの局面は、「投げ」の前半の局面であり、この局面は、「取」と「受」の体が重なり合い、1 つの物体とみなすことができるので、2 人の合成重心点を求め、質量も両者の和とし、力を算出した。

2. “取”の発揮するパワー、力、速度

図 7 は“取”の身体重心点における力、速度、パワー(力×速度)を経時的に表したものである。

力は「投げ」の前半にピークがあらわれた。力は質量が一定であれば、加速度に比例する。加速度は速度曲線の微分で表されるから、質量が一定であれば、速度曲線が急傾斜を示すところが大きい力に相当する。ところが、「投げ」の前半の局面では、“取”と“受”の身体重心点を合成して考えているので、質量も“取”と“受”の質量を合せたものになり、図 7 のような力曲線になった。そこで動作中に発揮されたパワー値を求めると、2 つの頂点が、「掛け」の後半と「投げ」の前半にあらわれた。そのピーク値はそれぞれ約 85 kgm/sec と約 70 kgm/sec を示している。パワーを力と速度の関係からみると、「掛け」の前半では、主に速度に帰因し、パワーのピーク時には 1.0 m/sec であった。また「投げ」の前半においては、力と速度はそれぞれ 110.0 kg、0.63 m/sec となり、いずれも最高値の約 60% にあたり、力と速度の両者がパワー発揮の要因となっていると考えられる。

発揮されたパワーの 2 つのピークの発現は、“取”が送り足を着床し、急激に重心位を下げながら“受”の下に入っていく局面と、「投げ」の前半の局面に相当する。

3. 受身による衝撃力

身体を四肢と体幹・頭部の 5 分節に分け、各分節の重心の運動量の変化分を算出し、それに要した時間で除すことによって力を算出した。この力を量との衝撃力と考えた。全身の合成重心点についても同様に力を算出し

表 1 受身による衝撃力

	[1] 運動量 最大 (kgm/s)	[2] 運動量 最小 (kgm/s)	[3] 力 積 (kgm/s) [1]-[2]	[4] 所要時間 (ms)	[5] 衝撃力 (kgw)
左 上 肢	20.0	0.7	19.3	320	60.4
右 下 肢	57.7	4.3	53.4	260	205.4
左 下 肢	55.4	3.2	52.3	320	163.4
体 幹	65.1	8.7	56.4	560	100.6
身体重心	174.5	15.6	158.8	320	495.7

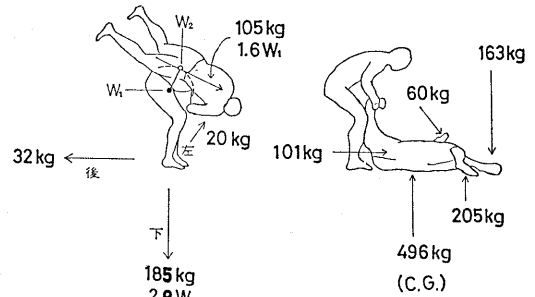


図 8 背負投動作時に発揮される力

た。その結果が表 1 にまとめられている。それを見ると、左上肢が 60.4 kg、左下肢が 163.4 kg、右下肢が 205.4 kg、体幹・頭部が 100.6 kg であった。これらの総計は身体重心点における 495.7 kg よりも大きい数値となった。この理由は、身体の末端部位の速度が大きくあらわれたためと考えられる。また各分節重量の全体重に対する比率が、上肢 1 側が 5%、下肢 1 側が 17%、頭部・体幹が 56% である¹¹⁾とすると、衝撃力の比率はこの比率とは近似しない。従って重量だけでなく速度によっても影響されていることになる。身体重心点に加わった体重あたりの衝撃力は 7.6 kg であった。

4. “取”が“受”に及ぼす回転力

投げの運動は回転運動が伴う。“取”の重心点を中心にし、“取”と“受”のそれぞれの身体重心点の間の距離を半径として回転運動が起こると仮定し、「投げ」の前半の局面において、“受”の重心が描く円に対して接線方向にあらわれる力を算出した。この力は“取”が発揮していると考えられる。その算出値は約 105 kg であった。これは“取”の人の体重の約 1.6 倍に相当する(図 8 中)。

ま と め

手技の中で代表的な技である背負投を熟練者に行わせ、高速度映画分析法によって、運動学的、運動力学的分析を行った。その結果以下のことが明らかになった。

A. 運動学的分析

1) 動作局面の区分

背負投をいくつかの局面に区分した。全体の所要時間に対して「掛け」の局面が 47~48%、「投げ」の局面が 42~45%、「受身」の局面が 8~11% を占めた。

2) 重心高の変位

“受”は“取”より 18cm 下方へ変位して、“受”をかっ飛びあげた。この数値には個人差があると考えられる。

3) 重心移動速度

“取”の送り足が着床し、重心点を急速に下げていく時に 1.0 m/sec を示した。“受”は、落下時に 2.66 m/sec を示した。

4) “取”の身体重心点上下動の要因

“取”の体幹は「掛け」の後半から、「投げ」の前半へと前傾を加えていった。“取”の膝関節は、「掛け」の後半の局面で屈曲し、「投げ」の前半に伸展運動をした。「掛け」の後半における身体重心点の下降は、体幹前傾と膝関節屈曲によるものである。また「投げ」の前半における身体重心点の上昇は、膝関節伸展によるものである。

B. 運動力学的分析

1) 足裏にかかる力の極座標

「掛け」の前半の局面で、“取”が足裏で畳を押す力の最高値は、左方向に 20 kg、後方向に 32 kg、下方向に 185 kg であった。

2) “取”の発揮したパワー

パワーのピーク値は「掛け」の後半に約 85 kgm/sec、
「投げ」の前半に約 70 kgm/sec であり、1 つ目のピークは主に速度に依存し、2 つ目のピークは速度と力の両者に依存した。

3) 受身による衝撃力

“受”の左上肢に 60.4 kg、左下肢に 163.4 kg、右下肢に 205.4 kg、体幹・頭部に 100.6 kg の衝撃力が加わった。身体重心点においては、495.7 kg (7.6 kg/BW) であり、各身体分節に加わった衝撃力の総和より小さかった。

4) 投げの回転力

「投げ」の前半に、“取”が“受”に対して及ぼす回転力は約 105 kg であった。

背負投動作時に発揮される力をまとめとして図 8 に示した。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、多大な御教示を賜った体育

研究所所長の石井喜八教授ならびに武道 I 研究室の金当国臣教授に深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 井浦吉彦, 川村禎三, 浅見高明, 竹内善徳, 石島繁: 柔道技術の分析的研究—投げ技における頭位と上肢の位置変化について—, 武道学研究, **15** (1), 15-20 (1982).
- 2) 金芳保之, 根本哲郎, 播本定彦, 吉田浩重, 荻原郡次: 柔道投技の構造特性に関する研究—第 2 報・投技の時間経過について—, 武道学研究, **7** (1), 68-69 (1974).
- 3) 松永郁男, 平沼正治, 北本 拓, 川村自行: 大外刈の軸足の研究—身長差・体重差を条件として—, 武道学研究, **15** (2), 126-128 (1982).
- 4) 橋本 昇, 青木豊次, 寒河江俊光, 山本洋祐, 三浦孝仁, 森本利和: 柔道の投げ技の分析—内股について—, 日本体育大学紀要, **13**, 73-79 (1984).
- 5) 竹内外夫, 高橋邦郎, 長谷川優, 鈴木輝雄: 柔道競技の勝敗に関する研究—身長・体重・ローレル指数と勝敗との関係—, 武道学研究, **8** (1), 11-17 (1974).
- 6) 猪飼道夫, 松本芳三: 柔道の運動力学的研究, 講道館柔道科学研究会紀要, 第 1 輯, 47-58 (1958).
- 7) 金芳保之, 播本定彦, 吉本浩重, 根本哲郎: 柔道投技の構造特性に関する研究—第 3 報・投技における腰関節部の時間—加速度曲線—, 武道学研究, **8** (2), 34-35 (1975).
- 8) 児島義明, 浅見高明, 松本芳三, 竹内善徳: 柔道投技の受身の分析—身体各部の衝撃力と接床時間について—, 武道学研究, **10** (3), 50-56 (1978).
- 9) 松井 勲, 川村禎三, 浅見高明, 竹内善徳: 柔道投技の衝撃と受身に関する研究—腕部における受身の効用について—, 武道学研究, **13** (2), 70-71 (1981).
- 10) 橋本 昇, 金当国臣, 青木豊次, 松井紳一郎: 柔道用量に関する研究 (第 2 報), 武道学研究, **11** (2), 85-86 (1978).
- 11) 松井秀治: 運動と身体の重心, 第 1 版, 第 3 章 生体計測値による人体の質量と重心の算出, p. 33, 杏林書院, 体育の科学社, 東京 (1953).